

JC971 U.S. PTO
09/903527



대한민국 특허청

KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

출원번호 : 특허출원 2001년 제 5889 호
Application Number

출원년월일 : 2001년 02월 07일
Date of Application

출원인 : 광주과학기술원
Applicant(s)

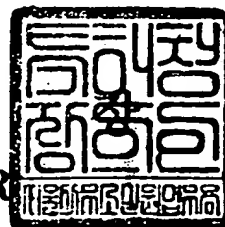
**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**



2001 년 05 월 02 일

특 허 청

COMMISSIONER



| | |
|------------|--|
| 【서류명】 | 특허출원서 |
| 【권리구분】 | 특허 |
| 【수신처】 | 특허청장 |
| 【제출일자】 | 2001.02.07 |
| 【발명의 명칭】 | O F D M 시스템용 원-탭 등화기뱅크의 신호왜곡 보상방법 |
| 【발명의 영문명칭】 | One-Tap Equalizer Bank for the Orthogonal Frequency Division Multiplexing System |
| 【출원인】 | |
| 【명칭】 | 광주과학기술원 |
| 【출원인코드】 | 3-1998-099381-5 |
| 【대리인】 | |
| 【성명】 | 이종일 |
| 【대리인코드】 | 9-1998-000471-4 |
| 【포괄위임등록번호】 | 2000-050026-5 |
| 【대리인】 | |
| 【성명】 | 조희연 |
| 【대리인코드】 | 9-2000-000220-0 |
| 【포괄위임등록번호】 | 2000-050028-0 |
| 【발명자】 | |
| 【성명의 국문표기】 | 김기선 |
| 【성명의 영문표기】 | KIM,Ki Seon |
| 【주민등록번호】 | 560827-1489415 |
| 【우편번호】 | 500-712 |
| 【주소】 | 광주광역시 북구 오룡동 1번지 광주과학기술원 정보통신공학과 |
| 【국적】 | KR |
| 【발명자】 | |
| 【성명의 국문표기】 | 강홍구 |
| 【성명의 영문표기】 | KANG,Hong Ku |
| 【주민등록번호】 | 720501-1178323 |
| 【우편번호】 | 500-712 |
| 【주소】 | 광주광역시 북구 오룡동 1번지 광주과학기술원 정보통신공학과 |
| 【국적】 | KR |

【심사청구】

청구

【취지】

특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인

이종일 (인) 대리인

조희연 (인)

【수수료】

【기본출원료】

17 면 29,000 원

【가산출원료】

0 면 0 원

【우선권주장료】

0 건 0 원

【심사청구료】

4 항 237,000 원

【합계】

266,000 원

【감면사유】

정부출연연구기관

【감면후 수수료】

133,000 원

【요약서】**【요약】**

본 발명은 직교 주파수 분할 다중(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 이하 OFDM이라고 약칭함) 시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 OFDM 시스템에서 다중 경로 페이딩 채널에 의한 신호의 왜곡을 보상하기 위하여 사용되는 원-탭(One-Tap) 등화기뱅크 구조의 복잡성을 줄이는 등화기 뱅크에 관한 것이다.

본 발명은 OFDM 시스템에서 원-탭 등화기뱅크를 이용하여 다중경로 페이딩 채널에 의한 부반송파 신호의 왜곡을 보상하는 방법에서, 인접된 부반송파의 등화기 탭 값을 이용하여 다른 인접 부반송파의 등화기 탭 값을 적은 계산량으로 계산함으로써 시스템의 복잡성을 크게 줄이면서 신호의 왜곡을 보상한다.

본 발명에 의하면, 등화기의 탭 값을 계산하는데 있어 계산된 탭 값만을 사용하므로 사용되는 알고리즘에 관계없이 적용이 가능하여 여러 가지 알고리즘을 갖는 등화기뱅크에 모두 적용할 수 있다.

【대표도】

도 3

【색인어】

직교주파수분할다중화 시스템, 원-탭 등화기뱅크, 선형보간법, 신호왜곡, LMS, RLS.

【명세서】**【발명의 명칭】**

OFDM 시스템용 원-탭 등화기뱅크의 신호왜곡 보상방법 {One-Tap Equalizer Bank for the Orthogonal Frequency Division Multiplexing System}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 일반적인 OFDM 시스템의 구성도이다.

도 2는 본 발명에 따른 선형 보간법의 구현도이다.

도 3은 본 발명에 따른 원-탭 등화기뱅크의 구현도이다.

도 4는 본 발명의 일실시예(LMS)와 종래기술의 비트에러율을 주파수 오프셋의 값에 따라 비교하여 도시한 그래프이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예(RLS)와 종래기술의 비트에러율을 비교하여 도시한 그래프이다.

<도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

10 : 송신기 20 : 채널

30 : 수신기 40 : 가산기

50 : 곱셈기 60 : 전가산기

【발명의 상세한 설명】**【발명의 목적】****【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】**

<10> 본 발명은 직교 주파수 분할 다중(Orthogonal Frequency Division Multiplexing,

이하 OFDM이라고 약칭함) 시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 OFDM 시스템에서 다중 경로 페이딩 채널에 의한 신호의 왜곡을 보상하기 위하여 사용되는 원-탭(One-Tap) 등화기뱅크 구조의 복잡성을 줄이는 등화기뱅크에 관한 것이다.

<11> OFDM은 직교하는 부반송파(Sub-carrier) 스펙트럼간의 중첩을 통해 대역폭을 효율적으로 이용하는 다중 반송파 전송방식으로서, 일반적인 단일 반송파 전송방식이 고속 데이터를 직렬로 전송하는데 비하여 고속의 데이터를 저속의 병렬 데이터로 변환하여 전송하므로 다중경로 채널 하에서 인접 전송심벌의 간섭을 줄여 쉽게 고속 전송을 이루게 하는 전송방식이다.

<12> 이러한 OFDM 시스템에서 다중채널에 의한 페이딩(fading) 효과는 인접심벌의 간섭이 발생하는 직렬 전송방식과는 다르게, 단지 전송신호의 왜곡으로 나타나게 되고, 다중 경로 페이딩에 의한 전송신호의 왜곡은 직렬 전송방식에 비하여 비교적 쉽게 보상이 된다.

<13> 상기 OFDM 시스템에서 이러한 신호의 왜곡은 보통 두 가지 방법에 의하여 보상이 된다.

<14> 하나는 전송 데이터의 정보를 연속되는 두 심벌의 차이에 전송하는 차동(Differential) 변복조방식이다.

<15> 상기 차동 변복조방식은 메모리와 적당한 연산을 이용하여 전송 데이터를 코딩하여 전송함으로서 쉽게 구현이 가능하다는 장점이 있지만, 한 심벌의 에러가 두 심벌의 에러를 발생시키고 노이즈에 약하다는 단점을 갖는다.

<16> 이러한 단점을 극복하기 위하여 사용되는 또 다른 방식으로 원-탭 등화기뱅크를 갖

는 간섭(Coherent) 변복조방식이다.

<17> 상기 간섭 변복조방식이 차동 변복조방식보다는 구조가 복잡하지만, 성능에 있어서 약 두 배의 성능을 갖는다.

<18> 비록, 원-탭 등화기(Equalizer)를 갖는 차동 변복조방식이 복잡한 구조를 가지고 있지만, 반도체설계 및 집적기술의 발달은 복잡한 원-탭 등화기뱅크를 갖는 간섭 변복조방식의 실현을 가능케 하였다.

<19> 그러나, 원탭 등화기뱅크에서 필요한 원-탭 등화기의 수는 부반송파의 개수와 같아서, 사용되는 부반송파의 수가 증가하고 등화기 탭 값을 계산하는 알고리즘의 복잡성이 증가함에 따라 원-탭 등화기뱅크를 갖는 간섭 변복조방식의 설계가 어려워지고, 심지어는 구현이 불가능하게 될 수도 있는 문제점이 있었다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<20> 본 발명은 상기한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, OFDM 시스템에서 원-탭 등화기뱅크를 갖는 간섭 변복조방식을 도입하는데 있어서, 시스템 성능은 그대로 유지하면서, 그 구조의 복잡성을 크게 줄일 수 있는 원-탭 등화기 뱅크를 제안하여 시스템 구현을 용이하게 하는데 그 목적이 있다.

<21> 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명은 OFDM 시스템에서 인접된 부반송파의 채널의 특성이 유사하다는 것을 이용하여 간단한 계산으로 탭 값을 구하고, 이러한 인접 탭 값들로부터 보간법을 이용하여 채널을 예측함으로써 시스템의 커다란 복잡성 증가없이 원-탭 등화기뱅크를 갖는 간섭 변복조방식의 구현이 가능하게 되는 것이다.

【발명의 구성 및 작용】

<22> 이하 첨부된 도면을 참조하여, 본 발명에 따른 OFDM 시스템에서 제안된 원-탭 등화기뱅크에 대하여 상세하게 설명한다.

<23> 도 1은 원-탭 등화기뱅크를 갖는 간섭 변복조방식을 적용한 OFDM 시스템의 전형적인 시스템 모델로서, 크게 송신기(10), 채널(20), 수신기(30)의 세 부분으로 구성된다.

<24> 도 1을 참조하면, 송신기(10)에 입력되는 고속의 직렬 데이터 심벌들은 먼저 S/P(Series/Parallel) 변환기에 의해 고차변조되어 즉, 저속의 병렬 데이터 심벌로 변환되어 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 연산을 통하여 부반송파들을 변조시킨다.

<25> 변조된 데이터 심벌은 보호구간이 삽입이 되고 전송에 적합한 아날로그 신호로 변환이 되어 전송을 하게 된다.

<26> 이때 송신기(10)에서 송신되는 OFDM 신호의 복소 진폭은 수학식 1과 같다.

<27> 【수학식 1】

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} \sqrt{\frac{A}{T}} a_{n,k} e^{j2\pi(f_k+f_c)t} p(t-nT)$$

<28> 여기서 N 은 부반송파의 개수, A 는 신호의 전력과 관계된 상수, T 는 보호구간을 포함한 OFDM 심벌의 길이, $a_{n,k}$ 는 n 번째 시간 구간에서 k 번째 부반송파에 의해 전송되는 데이터 심벌, f_k 는 k 번째 부반송파의 주파수, f_c 는 반송파 주파수, $p(t)$ 는 진폭이 1이고 길이가 T 인 구형 펄스를 나타낸다.

<29> 상기 수학식 1에 표현된 OFDM 전송신호는 다중경로 채널(20)을 통해 수신기(30)로 전송된다.

<30> 본 발명에서 사용하는 채널(20)은 하나의 직접경로를 지나는 직접파와 다수개의 지

연경로를 대표하는 반사파 성분을 갖는 2경로 채널(20)이다.

<31> 상기 채널(20)의 임펄스 응답은 수학식 2와 같이 표현된다.

<32> 【수학식 2】

$$h(t) = [\delta(t) + \alpha\delta(t-\tau)]$$

<33> 여기서 α 는 레일레이(Rayleigh) 분포를 갖는 지연경로의 감쇠계수이고, τ 는 보호 구간보다 작은 균등분포의 지연시간을 나타낸다.

<34> 상기 수신기(30)에서는 다중경로 채널(20)을 통과한 신호를 수신하여 송신기(10)에서 삽입한 보호구간을 제거하고 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하여 부반송파 복조를 하게 된다.

<35> 이때 복조된 k 번째 부반송파 신호는 다중경로 페이딩에 의하여 왜곡된 전송 신호와 백색잡음에 의한 합으로 수학식 3과 같이 나타난다.

<36> 【수학식 3】

$$u_{n,k} = \sqrt{A} a_{n,k} [1 + \alpha e^{-j2\pi(f_c + f_k)\tau}] + N_{n,k}$$

<37> 여기서 $N_{n,k}$ 는 백색잡음에 의한 노이즈 성분이다.

<38> 수학식 3에서 다중경로 채널(20)에 의한 k 번째 신호의 왜곡을 나타내는 $[1 + \alpha e^{-j2\pi(f_c + f_k)\tau}]$ 에서, 위상이 $e^{-j2\pi(f_c + f_k)\tau}$ 인 것을 알 수 있다.

<39> 만약, 부반송파간의 주파수 분할 공간($f_k - f_{k-1}$)의 값이 지연시간(τ)보다 상당히 작으면 인접된 부반송파에서 신호의 왜곡이 유사한 값으로 주어지게 된다.

<40> 본 발명은 인접된 부반송파에서 신호의 왜곡이 비슷한 값으로 주어지게 된다는 상기 특성을 이용한다.

<41> OFDM 시스템에서 신호의 왜곡을 보상하기 위해 원-탭 등화기뱅크가 사용되는데, 이 원-탭 등화기뱅크의 값은 근사적으로 각각 부반송파에서 신호의 왜곡의 값의 역수로 주어진다.

<42> 인접 부반송파의 신호의 왜곡 값이 유사하다는 것은 직관적으로 두 인접된 원-탭 등화기의 탭 값이 유사하다는 것을 의미하고, 따라서 인접된 부반송파에서 등화기의 탭 값을 이용하여 다른 인접 부반송파의 등화기 값을 계산할 수가 있는 것이다.

<43> 인접 부반송파의 탭 값에서 다른 인접 부반송파의 탭 값을 계산하기 위해서 많은 방법의 사용이 가능하지만, 본 발명에서는 복잡성을 줄이기 위해서 수학식 4로 표시되는 간단한 보간법을 사용하고, 간단한 보간법 중의 한 예로서 선형 보간법에 의한 탭 값은 수학식 5와 같이 계산한다.

<44> 【수학식 4】

$$C_k = f(C_{k-1}, C_{k+1})$$

<45> 【수학식 5】

$$C_k = \frac{C_{k-1} + C_{k+1}}{2}$$

<46> 여기서 C_k 는 k 번째 부반송파에서 등화기의 탭 값을 의미한다.

<47> 상술한 바와 같이 선형 보간법을 이용하면 쉽게 두 인접 부반송파의 등화기 탭 값들로부터 원하는 부반송파의 탭 값을 구할 수 있다.

<48> 또한, 선형 보간법을 이용하면 시스템의 구현시 단 하나의 전가산기(60)를 이용하여 선형 보간법을 구현을 할 수 있어 시스템의 복잡성을 줄일 수 있다.

<49> 도 2는 하나의 전가산기를 이용한 선형 보간법의 구현도이다.

- <50> 선형 보간법에서 덧셈은 전가산기(60)가 수행을 하고 나눗셈은 전가산기(60)의 출력을 1비트 우(right)로 이동시키는 와이어드 쉬프트(Wired Shift) 연산을 이용하여 추가적인 복잡성의 증가없이 구현이 가능하다.
- <51> 이처럼 선형 보간법을 이용한 원-탭 등화기뱅크를 사용하면 부반송파의 개수의 약 반에 해당하는 원-탭 등화기들을 하나의 전가산기와 하나의 곱셈기를 이용하여 구현이 가능하다.
- <52> 따라서, 복잡한 알고리즘을 사용하는 종래의 방법에 비하여 수신기(30)의 복잡성을 크게 줄일 수 있다.
- <53> 또한, 상술한 알고리즘은 탭 값을 계산하는 알고리즘에는 무관하고 단지 계산된 탭 값들을 이용하므로 여러 가지 다양한 알고리즘을 사용하는 등화기뱅크에 적용이 가능하므로 시스템의 구현 시에 유연성과 편의성을 제공한다.
- <54> 도 3은 본 발명에 따른 원-탭 등화기뱅크를 사용하는 OFDM 수신기(30)의 등화기 뱅크의 일부분을 나타낸 그림이다.
- <55> 도 3에서는 본 발명에 따른 등화기뱅크가 복잡성을 얼마나 줄이는 지를 보이기 위하여, 인접 부반송파에서 비교적 간단한 연산으로 탭 값을 구할 수 있는 LMS (Least Mean Square) 알고리즘을 사용하였다.
- <56> 비록 간단한 LMS 알고리즘을 사용하더라도 종래의 등화기뱅크에서는 부반송파 개수의 2배에 해당하는 가산기와 곱셈기가 필요하고, 탭 값을 저장하기 위해서 부반송파 개수와 같은 수의 메모리가 필요하게 되나, 본 발명에 따른 등화기뱅크의 경우에는 부반송파 개수의 약 1.5배에 해당하는 가산기와 곱셈기, 그리고 부반송파의 절반에 해당하는

메모리가 필요하게 된다.

<57> 따라서, 부반송파의 개수의 약 절반에 해당하는 덧셈기, 곱셈기와 메모리를 줄일 수 있다.

<58> 이는 상당히 큰 수의 부반송파를 사용하는 OFDM 시스템에서 종래 윈-탭 등화기뱅크를 사용하는 경우보다 쉽게 시스템을 구현할 수 있다는 것을 의미한다.

<59> 도 4 및 도 5는 본 발명의 등화기뱅크를 사용하는 OFDM 시스템과 종래 OFDM 시스템의 비트에러율(BER)을 모의실험을 통하여 도시한 것이다.

<60> 여기서 부반송파의 수는 128개로 가정하고 전형적인 밀리미터파 채널의 파라미터 값들이 사용되는데, 지연경로의 감쇠계수(α)는 레일리 분포를 갖는 확률변수를, 지연 시간(τ)은 보호구간보다 작은 균등분포를 갖는 확률변수가 사용된다.

<61> 도 4는 감쇠계수의 평균이 0.25인 경우에 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 사용하는 종래의 방법과 본 발명을 사용하는 OFDM 시스템의 비트에러율을 비교하여 보여준다.

<62> 일반적으로 많이 사용되는 비트에러율의 값인 10^{-3} 을 살펴보면 본 발명이 종래의 방식에 비하여 성능이 매우 적게 저하됨을 알 수 있다.

<63> 하지만, 윈-탭 등화기뱅크의 복잡성을 고려한다면, 본 발명을 이용한 OFDM 시스템이 설계 및 구현에 있어서 더 용이하고, 주파수 오프셋이 30Khz가 존재하는 경우에도 본 발명을 적용한 시스템의 성능 저하가 거의 없음을 알 수 있어 결국, 본 발명을 OFDM 시스템에 적용하는 경우, 종래의 방식에 비하여 큰 성능의 저하가 없이 시스템의 복잡성을 크게 줄일 수 있는 것이다.

- <64> 도 5는 RLS(Recursive Least Square) 알고리즘을 사용하는 종래 등화기뱅크를 갖는 OFDM 시스템과 본 발명을 적용한 OFDM 시스템의 비트에러율을 도시하고 있다.
- <65> 비트에러율 10^{-3} 을 살펴보면 본 발명이 종래의 방식에 비하여 성능이 매우 적게 저하됨을 알 수 있다.
- <66> 이는 본 발명이 LMS 뿐 아니라 RLS 알고리즘에도 적용이 가능하며, 탭 값의 계산 알고리즘에 무관하기 때문에 여러 가지 알고리즘에 적용이 가능하다는 타당성을 입증하는 것이다.
- <67> 또한, 감쇠계수의 평균값이 0.2와 0.25인 경우를 살펴보면, 역시 본 발명을 이용하는 OFDM 시스템의 성능이 종래의 방식을 사용하는 OFDM 시스템의 성능과 유사함을 보여준다.
- <68> 이는 본 발명이 다양한 채널조건에서도 사용이 가능하다는 타당성을 입증하는 것이다.

【발명의 효과】

- <69> 이상에서 설명한 바와 같이, OFDM 시스템에서 본 발명에 따른 원-탭 등화기 뱅크는 약 부반송파의 개수의 반에 해당하는 원-탭 등화기들을 간단한 보간법을 이용하여 구현을 가능하게 함으로서 그 구조를 간략화하고 성능은 기존의 원-탭 등화기 뱅크에 비하여 큰 손실을 가져오지 않았다.
- <70> 또한, 이러한 원-탭 등화기의 구조는 등화기의 탭 값을 계산하는데 사용되는 알고리즘에 관계없이 적용이 가능하므로 여러 가지 알고리즘을 갖는 등화기 뱅크에 적용이 가능하여 OFDM 시스템의 설계 시에 용이함과 유연성을 제공하는 효과가 있다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

OFDM 시스템에서 원-탭 등화기뱅크를 이용하여 다중경로 페이딩 채널에 의한
부반송파 신호의 왜곡을 보상하는 방법에 있어서,

인접된 부반송파의 등화기 탭 값을 이용하여 다른 인접 부반송파의 등화기 탭 값을
계산함으로써 왜곡을 보상함을 특징으로 하는 OFDM 시스템용 원-탭 등화기뱅크의 신
호왜곡 보상방법.

【청구항 2】

청구항 1에 있어서, 상기 등화기의 탭 값이,

【수학식 6】

$C_k = f(C_{k-1}, C_{k+1})$ 로 표현됨을 특징으로 하는 OFDM 시스템
용 원-탭 등화기뱅크의 신호왜곡 보상방법.

【청구항 3】

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 등화기의 탭 값은,

【수학식 7】

$C_k = \frac{C_{k-1} + C_{k+1}}{2}$ 로 표현되는 선형 보간법에 의해 계산됨을 특
징으로 하는 OFDM 시스템용 원-탭 등화기뱅크의 신호왜
곡 보상방법.

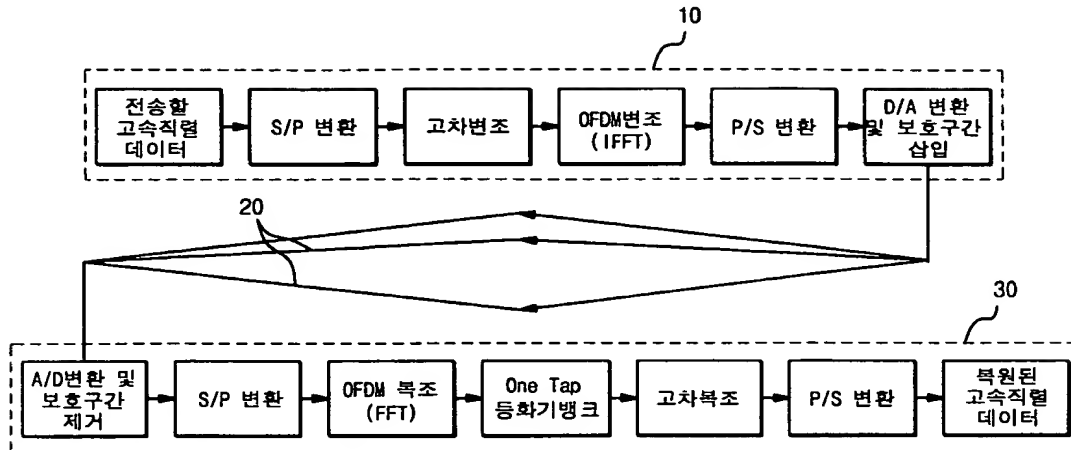
【청구항 4】

청구항 3에 있어서, 상기 선형 보간법에서 덧셈은 전가산기가 수행을 하고 나눗셈

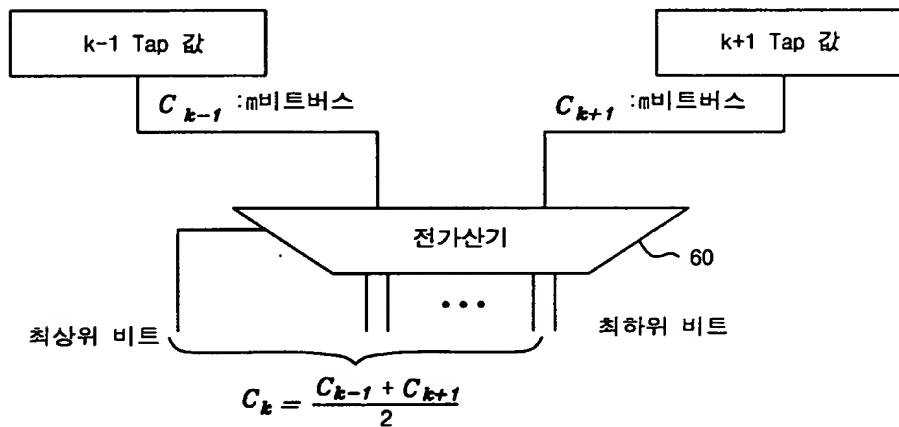
은 전가산기의 출력을 1비트 위로 이동시키는 와이어드 쉬프트 연산으로 행해짐을 특징
으로 하는 OFDM 시스템용 원-탭 등화기뱅크의 신호왜곡 보상방법.

【도면】

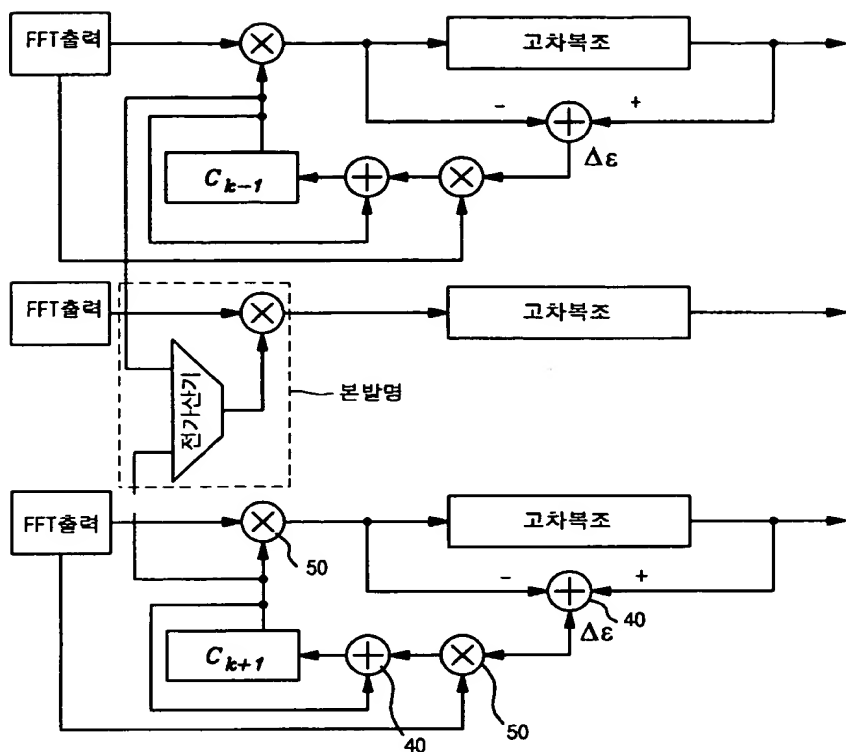
【도 1】



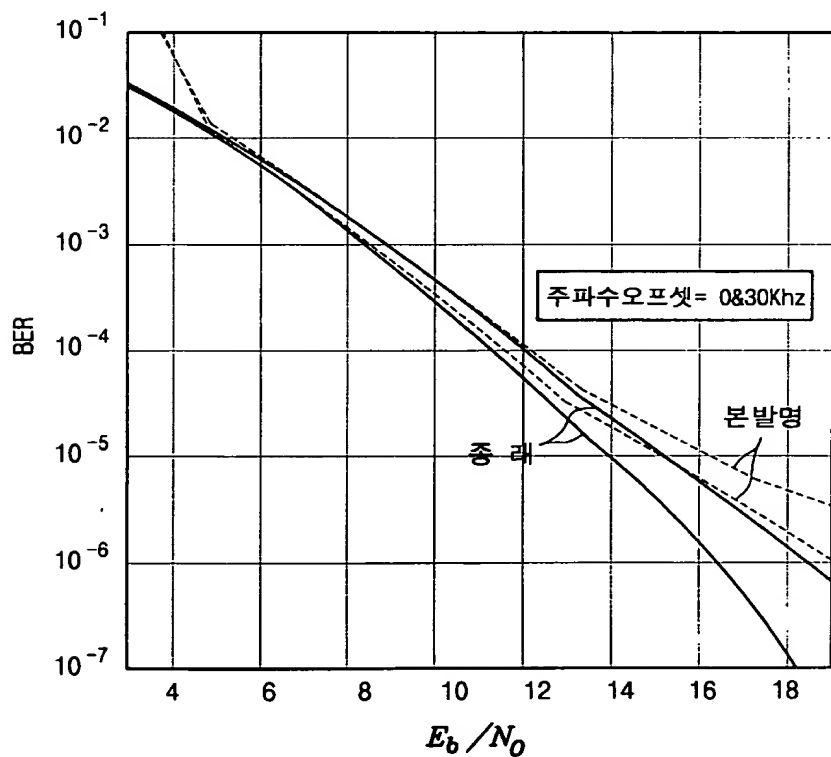
【도 2】



【도 3】



【도 4】



【도 5】

